POCS 이론을 이용한 개선된 S&A 방법에 의한 영상의 화질 향상

윤수아^{*}, 이태균^{**}, 이상현^{***}, 손명규^{****}, 김덕규^{*****}, 원철호^{*****}

요 약

최근 대부분의 디지털 이미지 응용분야에서는 영상 처리 및 분석을 위해 고해상도 이미지나 비디오가 요구되고 있다. 한편, 일반적인 영상획득시스템으로부터 획득한 영상신호는 획득하는 과정에서 물리적 영향, 제조 기술의 한계 및 환경적인 영향 등으로 인하여 영상의 화질 저하를 가져온다. 이러한 문제를 해결하기 위해 연구되고 있는 방법 중 하나인 초해상도 복원 기술은 동일한 물체를 촬영한 다수의 저해상도 영상으로 고해상도 영상을 만들어내는 영상복원기술이다. 본 논문에서는 S&A (Shift & Add) 방법에 POCS (Projection onto Convex Sets) 이론을 적용하여 기존의 방법보다 개선된 알고리즘을 제안한다. 기존의 알고리즘은 잡음에 약하다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 제안한 방법에서는 복원단계에 사용되는 참조영상을 POCS이론에 적용하여 기존의 S&A방법과 결합하였다. 또한 광학적 왜곡에 해당하는 카메라 블러(blur) 연산자로 주파수 영역에서 BLPF (Butterworth Low-pass Filter)를 사용하여 기존방법의 문제점인 링잉현상을 해결하였다. 실험결과를 통해 잡음에 강하고 영상의 고주파영역을 향상시킨 제안한 초해상도 방법의 우수성을 확인하였고, 객관적 평가를 위해 기존의 방법과 PSNR (peak signal to noise ratio)을 비교하였다.

Image Resolution Enhancement by Improved S&A Method using POCS

Soo-Ah Yoon^{*}, Tae-Gyoun Lee^{**}, Sangheon Lee^{***}, Myoung-Kyu Son^{****},
Duk-Gyoo Kim^{*****}, Chulho Won^{*****}

ABSTRACT

In most digital imaging applications, high-resolution images or videos are usually desired for later image processing and analysis. The image signal obtained from general imaging system occurs image degradation during the process of image acquirement caused by the optics, physical constraints and the atmosphere effects. Super-resolution reconstruction, one of the solution to address this problem, is image reconstruction technique that produces a high-resolution image from several low-resolution frames in video sequences. In this paper, we propose an improved super-resolution method using Projection onto Convex Sets (POCS) method based on Shift & Add (S&A). The image using conventional algorithms is sensitive to noise. To solve this problem, we propose a fusion algorithm of S&A and POCS. Also we solve the problem using BLPF (Butterworth Low-pass Filter) in frequency domain as optical blur. Our method is robust to noise and has sharpness enhancement ability. Experimental results show that the proposed super-resolution method has better resolution enhancement performance than other super-resolution methods.

Key words: Super-Resolution(초해상도), Image Reconstruction(영상복원)

※ 교신저자(Corresponding Author): 원철호, 주소: 경북 경산시 하양읍 부호리 33(712-701), 전화: 053-940-8625, FAX: 053-950-5505, E-mail: chulho@knu.ac.kr
접수일: 2011년 9월 15일, 수정일: 2011년 9월 15일
완료일: 2011년 10월 15일

^{*} 준회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(E-mail: sa211@ee.knu.ac.kr)

^{**} 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(E-mail: tg78@ee.knu.ac.kr)

^{***} 정회원, 대구경북과학기술원
(E-mail: pobbylee@dgist.ac.kr)

^{****} 준회원, 대구경북과학기술원
(E-mail: smk@dgist.ac.kr)

^{*****} 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(E-mail: dgkim@ee.knu.ac.kr)

^{*****} 정회원, 경일대학교 첨단의료기학과

※ 본 연구는 본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구 경북과학기술원 일반사업에 의해 수행되었습니다(11-BD-02)

1. 서 론

최근 의료영상, 위성영상 및 감시영상분야 등을 포함하여 대부분의 디지털 이미지 응용분야에서는 영상 처리 및 분석을 위해 고해상도 이미지나 비디오가 요구되고 있다. 이러한 고해상도에 대한 요구는 인간의 해석과 기계의 자동인식을 위한 이미지 정보 개선이라는 주요한 적용분야로부터 시작된다. 한편, 영상획득시스템에 일반적으로 사용되는 센서로 CCD (charge-coupled device) 및 CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) 이미지 센서가 있고 이 이미지 센서를 통해 획득한 영상신호는 획득하는 과정에서 물리적 영향, 제조 기술의 한계 및 환경적인 영향 등으로 인하여 영상의 화질 저하를 가져오는 문제가 있다. 이러한 영상의 화질저하 문제를 해결하기 위하여 최근 20년 동안 저해상도 (low-resolution, LR) 영상을 고해상도(high-resolution, HR) 영상으로 복원시키는 영상처리 기술 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3]. 그 중에 초해상도(Super-resolution, SR) 영상 복원 방법은 다수의 저해상도 영상들의 정보를 이용하여 고해상도 영상을 재구성하는 영상처리 기법이다.

초해상도 영상 복원 방법은 같은 장면을 촬영한 다수의 저해상도 영상들을 이용하여 고해상도 영상을 만들어내는 영상처리 기술이다. 이 기술은 일반적으로 영상의 고주파 성분을 향상시키고 저해상도 카메라의 영상처리로 인한 화질 저하를 개선시킨다. 이 초해상도 방법의 기본 아이디어는 하나의 고해상도 영상을 만들기 위해 다수의 저해상도 프레임에 포함된 중복되지 않는 정보를 결합시키는 것이다. 이 방법은 크게 영상 등록(registration)과 복원(reconstruction) 단계로 나눌 수 있다. 먼저, 등록 단계는 입력되는 다수의 저해상도 영상 중에서 특정 참조(reference) 영상을 기준으로 각각의 나머지 저해상도 영상들의 이동(shift) 및 회전(rotation) 정보를 수집하는 단계이고, 복원 단계는 입력된 저해상도 영상들과 등록 단계를 통해 얻은 각각의 이동 및 회전 정보를 이용하여 고해상도 영상을 복원시키는 단계이다.

초해상도 기술은 다양한 방법으로 연구되고 있는데 공간영역에서 대표적으로 사용되는 방법으로는 IBP (iterative back-projection) 방법이 있다[4]. 이

방법은 각 영상의 에지(edge) 성분들을 합하여 반복적인 과정을 수행하면서 고주파영역을 효과적으로 복원시키지만 복원된 영상의 화질이 저하되고 잡음에 약하다는 단점이 있다. 또한, 주파수 영역에서 대표적으로 사용되는 Papoulis-Gerchberg (PG) 방법은 업샘플링 시 발생하는 미지의 화소 값 (unknown-value)을 복원하기 위하여 이상적인 저역통과 필터 (ideal low-pass filter, ILPF)를 사용하는 방법이다 [5,6]. 이는 IBP방법보다 향상된 결과영상을 보여주지만 ILPF를 사용함으로써 인하여 링잉(ringing) 현상을 초래하는 단점을 가지고 있다.

M. Elad와 Y. Hel-Or은 비디오 프레임을 입력 영상으로 사용할 때 유용한 초해상도 방법인 S&A (Shift & Add) 방법을 제안했다[7]. 이 방법은 비디오 영상이 일반적으로 각 프레임간의 광학적 불리특성이 같고 공간 불변적(space invariant)이며, 측정된 프레임간의 기하학적 왜곡특성의 변화가 적다는 성질을 가정으로 한다. 이 가정은 다른 응용분야에 적용하기에 매우 제한적이지만 비디오 프레임과 같은 특정한 상황에는 상당히 유용하게 사용될 수 있다. S&A방법은 연산속도가 빠르며 고주파영역의 표현에 강한 강점이 있지만, 기존의 다른 알고리즘과 같이 잡음에 약하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존 방법에서 나타나는 문제점을 개선하기 위한 방법을 제안한다. 제안한 방법은 일반적인 초해상도 형식을 기초로 하며[2], PG방법에서의 ILPF로 인하여 발생하는 영상의 링잉 현상을 감소시키기 위하여 광학적 왜곡에 해당하는 PSF (Point Spread Function)로 BLPF를 사용하였다. 또한 영상 에지성분을 선명하게 복원하기위하여 S&A방법과 POCS이론의 조합을 사용하였다. 제안한 방법의 성능 평가는 시뮬레이션을 위해 MATLAB 툴을 사용하였고 주관적 및 객관적 성능 평가방법을 이용하여 기존의 초해상도 영상 복원 방법과 비교하였다. 결과적으로 제안한 방법은 기존 초해상도 방법보다 성능이 뛰어난 것을 확인하였고, 주파수 영역의 방법에서 나타나는 링잉 현상과 임펄스 잡음의 감소를 확인할 수 있었다.

2. 기존의 초해상도 복원 방법

초해상도 영상 복원의 목적은 입력되는 저해상도

영상들의 정보를 이용하여 고해상도 영상으로 재구성 하는 것이다. 그림 1은 일반적인 영상시스템으로부터 영상을 획득하는 과정을 나타낸다. 그림 1에서와 같이 영상 시스템의 입력은 왜곡 없는 연속적인 장면(continuous natural scenes)이다. 이 신호는 나이퀴스트(Nyquist) 이론에 의해 이산신호로 샘플링(sampling)되며 광학적 왜곡으로 인한 블러(blur)와 물체의 움직임으로 인한 모션(motion) 블러, 그리고 시스템적인 문제, 전송과정에서 생기는 에일리어싱(aliasing) 및 잡음 등을 거쳐 화질이 저하된 영상을 만들어낸다. 이러한 영상획득시스템의 문제를 극복하기 위하여 초해상도 영상 복원 기법의 연구가 시작되었다.

실세계의 영상이 에일리어싱 없이 샘플링된 고해상도 영상을 입력 X 라고 하고, 다양한 외부 요인들로 인해서 얻어지는 저해상도 영상을 Y_k 라고 했을 때 위 변수들과의 관계를 정리한식은

$$Y_k = D_k H_k F_k X + V_k \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

과 같다. 여기서 X 는 HR영상을 의미하고, F_k 는 모션 블러 (motion blur)를 의미한다. 모션 블러는 LR영상의 이동과 회전정보로 구성되며, 이 정보들은 영상 등록단계에서 획득할 수 있다. H_k 는 광학적 블러인 PSF를 의미하며, D_k 는 데시메이션(decimation)을 나타낸다. 마지막으로 V_k 는 부가적인 잡음(additive noise)을 의미한다. 모션 블러는 이동과 회전 정보를 가지고 있으므로 입력되는 LR영상은

$$Y_k = D_k H_k R_k S_k X + V_k \quad (2)$$

로 모델링되어진다. 여기서 S_k 및 R_k 는 각각 LR영상들의 이동 및 회전정보를 의미한다.

2.1 Papoulis-Gerchberg 방법

주파수영역에서 대표적으로 사용되는 PG방법은 블록 집합 투영 기법 (projection onto convex sets, POCS) 이론을 이용하여 주파수영역에서 영상을 복원하는 방법이다[5,6]. 그림 2는 POCS 이론을 기반으로 저해상도 영상을 고해상도 영상으로 투영하는 과정을 보여준다. 먼저 (a) 고해상도 그리드를 준비하고 (b) 첫 번째 저해상도 영상을 업샘플링 후 등록 단계에서 얻은 정보들을 이용하여 이동 및 회전을 시킨 영상을 준비된 그리드에 투영한다.

(c) 두 번째 저해상도 영상을 (b)와 같은 방법으로 영상처리 후 바로 전에 사용한 고해상도 그리드 위에 덮어 투영한다. 이와 같은 방법으로 고해상도 그리드의 픽셀 값들을 채워나가는 방법이 POCS이론이다.

PG방법은 다음의 두 가지 조건을 가정으로 한다. 첫째, 고해상도 그리드의 몇몇 픽셀 값들을 알고 있다. 둘째, 고해상도 영상의 고주파 성분들은 영(zero)이 된다. 다시 말해, 이 방법은 고해상도 영상의 주파수영역에서 영상의 고주파성분들을 제거하여 그리드 상의 미지의 값들을 채워나가는 방법이다. 그림 2에서 모든 저해상도 영상이 투영된 HR_k 그리드를 주파수영역에서 고주파성분을 제거시키면 그

그림 1. 일반적인 영상 시스템의 모델

그림 2. LR영상을 HR그리드로 투영하는 과정

리드의 0의 값들은 주위의 이미 알고 있는 픽셀 값들에 의해 채워지게 되고 이 과정을 반복하면서 이상적인 영상과 가까운 결과를 얻을 수 있다. 이것은 주파수영역에서 이상적인 저역통과필터(Ideal Lowpass Filter) 처리를 한 것과 같다. 이 방법은 각 고해상도 그리드의 고주파성분만을 제거함으로써 저주파성분의 에일리어싱을 방지하고 영상의 알지 못하는 픽셀 값들을 보간 하는 방법으로써 주파수영역에서의 대표적인 초해상도 복원 방법으로 사용되고 있다. 그러나 공간영역에서의 블러처리와는 달리 주파수영역에서의 ILPF 사용은 복원 영상에서 링잉(ringing) 현상을 발생시키는 단점이 있다.

2.2 Iterative Back Projection 방법

대표적인 초해상도 영상 복원 방법 중 하나인 IBP 방법은 임시의 결과 (temporary result)를 측정된 값에 투영시키고 이 과정을 반복적으로 수행하면서 고주파영역을 복원하는 방법이다[2-4]. 다시 말하면 각 입력영상의 에지성분을 합하는 과정을 반복하면서 영상을 복원시키는 방법이다. j 번째 임시의 결과를 $\hat{X}_j$ 로 표시할 때, 계산된 LR영상은 $\hat{Y}_{k,j} = D_k H_k F_k \hat{X}_j$ 로 표현하고, 오류 에너지(energy of error)를 최소화하기 위해 이 과정을 반복적으로 수행한다. HR영상을 얻기 위한 IBP방법의 수식적 표현은

$$\begin{aligned} \hat{X}_{j+1} &= \hat{X}_j + \sum_{k=1}^N Q_k [Y_k - \hat{Y}_{k,j}] \\ &= \hat{X}_j + \sum_{k=1}^N Q_k [Y_k - D_k H_k F_k \hat{X}_j] \end{aligned} \quad (3)$$

과 같다.

여기서 Q_k 는 선택되어야하는 오류 완화 행렬(error relaxation matrixes)을 나타낸다. SD (Steepest Decent) 알고리즘은 오류 행렬로 $Q_k = F_k^T H_k^T D_k^T$ 을 사용하며, 이 알고리즘은 최대 우도 추정법(Maximum Likelihood Estimation, MLE)을 이용한 IBP 표현이 된다[3]. SD 알고리즘의 수식은

$$\hat{X}_{j+1} = \hat{X}_j + \mu \sum_{k=1}^N F_k^T H_k^T D_k^T [Y_k - D_k H_k F_k \hat{X}_j] \quad (4)$$

와 같다.

초해상도의 최대 우도 추정법은 확률적인 방법으로 영상을 복원하는 방법으로 부가적인 잡음 벡터가 가우시안이며 상호간 독립적(mutually independent)인 것을 가정으로 한다. 이 MLE을 X에 대한 LSE의 일차 미분으로 표현하면

$$\sum_{k=1}^N [D_k H_k F_k]^T W_k^{-1} [Y_k - D_k H_k F_k X] = 0 \quad (5)$$

와 같이 표현할 수 있다.

2.3 Shift and Add 방법

M. Elad 등[7]은 비디오 프레임의 입력영상으로 사용할 때 유용한 초해상도 방법인 S&A 방법을 제안했다. 이 방법은 SD 알고리즘을 기반으로 하며, 비디오의 각 프레임의 광학적 블러특성이 같고 공간 불변적(space invariant)이라는 것과 촬영된 프레임 간의 기하학적 왜곡특성의 변화가 적다는 성질을 가정으로 한다. 이 가정은 비디오 프레임이 아닌 다른

응용분야에 적용하기에 매우 제한적이지만 비디오 프레임과 같은 특정한 상황에는 상당히 유용하게 사용될 수 있다. 이 방법은 SD 알고리즘에 $F_k^T H^T = H^T F_k^T$ 와 $H F_k = F_k H$ 이라는 사실을 이용하여

$$H X_{j+1} = H X_j + \mu H H^T \sum_{k=1}^N F_k^T D^T [Y_k - D F_k H X_j] \quad (6)$$

으로 표현된다[8].

S&A방법은 연산속도가 빠르며 고주파영역의 표현에 강한 장점이 있고, 기존의 다른 알고리즘과 같이 잡음에 약하다는 단점이 있다.

3. 제안한 초해상도 영상 복원 방법

본 장에서는 POCS이론을 이용하여 기존의 초해상도 복원 방법의 단점을 보완한 개선된 초해상도 복원 방법을 제안한다. 제안된 초해상도 방법은 연속된 여러 장의 저해상도 영상들의 정보들을 한 장의 고해상도 그리드에 모아 참조영상으로 사용한다. 이 방법은 POCS이론을 기존의 S&A 방법에 적용하고, 영상획득시스템의 광학적 블러인 PSF로 BLPF를 사용하면서 기존 방법의 잡음문제를 개선하는 방법이다. 제안된 방법은 S&A 방법과 마찬가지로 몇 가지 가정을 전제로 한다. 첫째, 비디오영상은 일반적으로 각 프레임간의 광학적 블러특성(PSF)이 같고 공간 불변적(space invariant)이다($H_k = H$). 둘째, 같은 기기로 촬영된 비디오 프레임은 데시메이션 연산자가 동일하다($D_k = D$). 셋째, 촬영된 프레임간의 기하학적 왜곡의 변화가 적으며, 따라서 행렬 F_k 는 모두 블록 순환(block-circulant)이다[8]. 이러한 가정들은 비디오 영상이 아닌 다른 응용분야에 적용하기에는 매우 제한적이지만, 촬영되는 영상이 정적(static)이고 적은 흔들림을 가지는 비디오 프레임과 같은 특정한 상황에는 상당히 유용하게 적용될 수 있다.

그림 3은 제안한 초해상도 복원 방법의 수행과정을 블록도로 간략히 보여준다. POCS이론을 이용한 PG 방법과 동일한 방법으로 저해상도 영상들은 데시메이션과 모션 블러를 고려하여 순차적으로 준비된 고해상도 그리드 위에 입력된다. 그렇게 생성된 고해상도 그리드는 제안된 방법의 참조영상으로 사용되며, 이것은 각 저해상도 영상의 이동 및 회전 정보를 포함하고 있기 때문에 제안된 방법의 최종 수식적 표현은

그림 3. 제안한 방법의 흐름도

$$H X_{j+1} = H X_j + \mu H H^T \sum_{k=1}^N F_k^T D^T [Y_k - D H X_j^p] \quad (7)$$

과 같이 나타 낼 수 있다.

여기서 X^p 는 모든 저해상도 영상이 투영된 고해상도 그리드를 의미하며, 이는 $F_k X$ 행렬을 포함하고 있다. 또한 μ 는 크기요소(scale factor)로 0보다 커야 하며, 이는 더해지는 에지성분의 크기를 조절하는 역할을 한다. j 는 반복수를 나타내며, 반복수는 고해상도 영상의 오차 값이 지정된 임계(threshold) 값에 도달할 때까지 수행하게 된다. 수식은

$$abs(\delta^n - \delta^{n+3}) < Th \quad (8)$$

과 같고, 여기서 $\delta^n = norm(X^n - X^0) / norm(X^n)$ 이고 Th 는 임계 값이다.

기존의 S&A 방법은 각각의 저해상도 영상의 차를 반복하여 더함으로 에지성분을 만들어냈지만, 제안한 방법은 전체 저해상도 영상이 투영된 정보와 각 저해상도 영상간의 차이를 에지성분을 만드는데 사용하면서 기존의 S&A 방법보다 고주파성분이 향상된 결과를 얻을 수 있다. 또한 좋지 않은 광학적 블러 연산자로부터 야기되는 잡음을 최소화하기 위해 시스템의 PSF에 해당하는 H_k 로써 주파수영역에서의 BLPF를 사용한다. 공간영역에서의 블러처리는 직관적이라는 장점이 있지만 원치 않은 저주파성분의 에일리어싱을 유발하는 원인이 될 수 있다. 이

러한 문제를 해결하기 위해 주파수영역에서의 필터 처리를 하며 기존의 PG 방법에서 ILPF로 인해 복원 단계에서 발생하는 링잉현상을 줄이기 위해 BLPF를 사용한다.

4. 실험 결과 및 고찰

이 장에서는 실제 데이터를 이용한 제안한 방법의 실험 결과를 보여준다. 실험을 위해 사용된 영상은 얼굴인식분야에서 주로 사용되는 테스트 영상 (Face) 과 Lena, Girl 그리고 직접 디지털 카메라로 촬영한 Dial 영상이다. 촬영에는 삼성에서 제조된 NV100HD 을 사용했다. Dial 영상을 제외한 입력영상들은 128×128크기의 원본 영상을 이용하여 1/4배인 32×32크기의 저해상도 영상 4장을 만들어 사용하였다[9]. Dial 영상은 촬영된 영상을 512×512크기로 잘라내어 1/4 배인 128×128크기의 저해상도 영상 4장을 만들어 사용하였다. 저해상도 영상입력에 사용된 저해상도 영상 4장은 각각 다른 이동 및 회전 정보를 가지고 있고, 영상등록단계에서 이를 측정하기 위해 Keren et

al.이 제안한 모션 추정(motion estimation) 알고리즘을 이용하였으며[10] 모든 실험에는 MATLAB 툴이 사용되었다.

그림 4는 제안된 알고리즘의 반복횟수에 따른 결과영상의 변화를 보여준다. 좌측부터 각각 5번, 10번, 15번, 20번 그리고 최종 결과인 36번 반복된 결과를 확대된 영상과 함께 보여주며, 적은 반복횟수의 고해상도 영상에 비어있던 픽셀 정보는 반복횟수가 증가함에 따라 채워지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 기존의 초해상도 방법과의 결과영상을 비교하기 위해 좌측부터 순서대로 원본의 Face 영상 그리고 IBP 방법, PG 방법, S&A 방법 마지막으로 제안한 방법으로 복원된 Face 영상을 보여준다. 그림 6과 그림 7은 각각 Lena와 Girl 영상으로 실험한 복원 결과 영상이며, 이와 같은 결과 영상을 통해 제안한 방법으로 복원된 영상은 PG방법의 단점인 링잉 현상이 현저히 줄었고, S&A 방법보다 고주파영역이 향상된 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 Dial 저해상도 영상을 이용한 복원 결과를 보여주고 있으며, 좀 더 명확한 비교를 위해 각 영상의 왼쪽 상단부분의 'SCREEN' 글자

그림 4. 반복횟수에 따른 영상복원의 변화

그림 5. (a) 원본영상 (b) IBP 방법 (c) PG 방법 (d) S&A 방법 (e) 제안한 방법으로 복원한 Face 영상

그림 6. (a) 원본영상 (b) IBP 방법 (c) PG 방법 (d) S&A 방법 (e) 제안한 방법으로 복원한 Lena 영상

그림 7. (a) 원본영상 (b) IBP 방법 (c) PG 방법 (d) S&A 방법 (e) 제안한 방법으로 복원한 Girl 영상

그림 8. (a) 원본영상 (b) LR영상 (c) IBP 방법 (d) PG 방법 (e) S&A 방법 (f) 제안한 방법으로 복원한 Dial 영상

를 확대하여 보여준다. PG 방법을 이용한 (d)의 확대된 결과영상을 보면 주파수영역에서의 ILPF 처리로 인해 고주파성분이 돋보이는 반면 글자 주변에 링잉 현상이 발생하여 영상의 저주파 영역에 원치 않는 잡음이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 잡음 현상은 복원 영상이 인식분야에 적용될 때 매우 불리한 성질로 작용한다. 또한 S&A 방법의 결과영상 (e)에서는 복원 영상의 고주파 영역 주변에 임펄스 잡음

이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 제안된 방법의 결과영상 (f)에서는 이러한 링잉현상과 임펄스 잡음이 줄어든 것을 눈으로 확인할 수 있으며, 보다 객관적인 성능평가를 위해 표 1에서 실험된 영상들과 초해상도 복원 방법들 간의 PSNR (peak signal to noise ratio)을 비교하여 제안된 방법의 우수성을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

최근 많은 디지털 응용분야에서의 고해상도 영상의 요구로 인해 고해상도 복원 연구가 활발히 진행 중에 있다. 초해상도 영상 복원 방법은 다수의 저해상도 영상을 이용하여 고해상도 영상을 복원하는 디지털 영상처리 기법이다.

표 1. 복원된 영상들의 PSNR

Test Images	PSNR [dB]			
	IBP	PG	S&A	Proposed
Face	30.43	33.16	32.09	35.52
Dial	31.37	33.77	33.37	34.97
Lena	28.40	29.97	29.51	31.13
Girl	29.52	31.31	30.63	32.22

본 논문은 POCS이론을 이용한 개선된 S&A 초해상도 영상 복원 방법을 제안하였다. 광학적 블러특성인 PSF로 주파수 영역에서의 BLPF를 사용하여 기존의 PG방법에서 발생했던 링잉 현상을 줄일 수 있었고, POCS이론을 이용하여 모든 저해상도 영상의 정보를 하나의 고해상도 그리드에 투영시켜 S&A방법의 참조영상으로 사용함으로써 기존의 방법보다 향상된 화질의 영상을 얻을 수 있었다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 4장의 테스트 영상을 사용하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 객관적 성능평가를 위해 기존의 초해상도 방법과의 PSNR을 비교하였고 실험결과를 통해 제안한 방법이 기존의 방법보다 복원 성능이 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] P. Milanfar, "SUPER-RESOLUTION IMAGING," *Boca Raton: CRC Press*, 2010.
- [2] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview," *IEEE signal processing magazine*, Vol.20, 2003.
- [3] M. Elad and A. Feuer, "Restoration of a Single Superresolution Image from Several Blurred, Noisy, and Undersampled Measured Image," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.6, pp. 1646-1658, 1997.
- [4] M. Irani and S. Peleg, "Improving Resolution by Image Registration," *CVGIP: Graphical Models, Image Processing*. Vol.53, pp. 231-239, 1991.
- [5] D. Jain, "Superresolution using Papoulis-Gerschberg Algorithm," EE392J-Digital Video Processing, Stanford University, Stanford, CA.
- [6] 정운수, 원철호, 문기영, 김정녀, "비디오 분석기술과 초해상도 영상 복원," *한국멀티미디어학회지*, vol.14, no.3, pp. 438-456, 2010.
- [7] M. Elad and Y. Her-Or, "A Fast Super-Resolution Reconstruction Algorithm for Pure Translational Motion and Common Space-Invariant Blur," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.10, pp. 1187-1193, 2001.
- [8] R. L. Lagendijk and J. Biemond, "Iterative Identification and Restoration of Images," *New York: Kluwer*, 1991.
- [9] http://lcavwww.epfl.ch/reproducible_research/Vandewalle SV05.
- [10] D. Keren, S. Peleg, and R. Brada, "Image Sequence Enhancement using Sub-Pixel Displacement," in *Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 742-746, 1988.

윤 수 아

2009년 8월 울산대학교 전기전자
정보시스템공학부 공학사
2010년 3월~현재 경북대학교 대
학원 전자전기컴퓨터학
부 석사과정
관심분야: 영상신호처리, 초해상도

손 명 규

1997년 2월 경북대학교 전자공학
과 공학사
1999년 2월 서울대학교 전기공학
부 공학석사
2005년 5월 LG전자 중앙연구소
선임연구원

2005년 5월~현재 대구경북과학기술원 선임연구원
관심분야: 컴퓨터 비전, 기계학습, HCI

이 태 군

2005년 2월 경일대학교 제어계측
공학과 공학사
2007년 8월 경북대학교 대학원 전
자공학과 공학석사
2008년 3월~현재 경북대학교 대
학원 전자전기컴퓨터학
부 박사수료

관심분야: 영상신호처리, 초해상도, 얼굴인식

김 덕 규

1973년 2월 경북대학교 전자공학
과 공학사
1977년 2월 경북대학교 대학원 전
자공학과 공학석사
1990년 2월 동경대학교 전기공학
과 공학박사

1995년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
관심분야: Audio 및 Video 공학, DTV 신호처리

이 상 현

1993년 2월 경북대학교 전자공학
과 공학사
1996년 2월 경북대학교 전자공학
과 공학석사
1996년~2001년 현대전자 멀티미
디어 연구소 연구원

2001년~2005년 LG전자 단말연구소 책임연구원
2005년~현재 대구경북과학기술원 선임연구원
관심분야: 컴퓨터 비전, Human Machine Interaction, 영
상신호처리, 임베디드 시스템 등

원 철 호

1992년 2월 경북대학교 전자공학
과 공학사
1995년 2월 경북대학교 대학원 전
자공학과 공학석사
1998년 8월 경북대학교 대학원 전
자공학과 공학박사

2002년 2월~현재 경일대학교 첨단의료기학과 부교수
관심분야: 영상인식, 신호처리